

NOUVELLES RECHERCHES

SUR LE

Développement et le Traitement du Mildiou¹⁾

par le Dr H. FAES

Physiologiste de la Station viticole de Lausanne

La contamination des feuilles par la face supérieure

Rappelons que jusqu'ici il était admis de manière générale que les appareils de fructification (conidiophores) du Mildiou, issus des stomates à la face inférieure de la feuille, abandonnaient à maturation les conidies, lesquelles venaient tomber à la face supérieure des feuilles de vigne. Ces conidies, déposées dans les gouttes d'eau provenant de la pluie ou de la rosée, émettaient après quelque temps des zoospores, munies de cils, lesquelles nageaient dans les gouttes d'eau, puis poussaient un tube de germination qui devait percer l'épiderme supérieur de la feuille. Ainsi se trouvait opérée la contamination, le tube de germination issu de la zoospore se ramifiant à l'intérieur de la feuille, y développant un mycélium abondant, qui dans des conditions favorables produit à nouveau, après une période variable d'incubation, des conidiophores, lesquels font issue au dehors par les stomates sis à la face inférieure de la feuille.

Cette conception de la contamination des feuilles de la vigne par le Mildiou repose sur une série d'observations qui, groupées, semblent constituer un tout harmonieux et logique. Millardet, dans une expérience, avait exposé, à un mètre de hauteur, dans un vignoble fortement atteint par le Mildiou, deux plaques de verre enduites d'une mince couche d'huile. L'une était placée horizontalement, l'autre verticalement, l'une des faces tournée à l'Ouest,

¹⁾ Ce travail a été publié par l'auteur dans la *Revue de viticulture* de Paris, numéros des 2, 9 et 16 novembre 1911.

c'est-à-dire perpendiculairement au vent alors régnant. Il faisait un vent léger. Après vingt-six heures, Millardet releva les plaques et les examina au microscope. Sur la face Est de la plaque verticale, il compta 1,050 spores par décimètre carré; sur l'autre, tournée du côté du vent, 6000 spores sur le même espace. Quant à la plaque horizontale, il n'y trouva pas de spores à la face inférieure, par contre 32,000 spores par décimètre carré sur la face supérieure. De là à conclure à la contamination des feuilles de vigne par la face supérieure, les spores qui s'y déposent y étant si nombreuses, il n'y a qu'un pas. Viala, dans son bel ouvrage des « Maladies de la vigne », écrit: « ...La zoospore, en germant, perce probablement l'épiderme de la face supérieure de la feuille, comme cela a lieu pour les autres Péronosporées, et le Mycélium qui en résulte s'insinue dans les tissus de l'organe attaqué... » Toutefois il ajoute expressément: « ...Mais on n'a pas suivi nettement ce procédé pour le *Plasmopora viticola* (Mildiou) ».

Les auteurs subséquents ne reproduisent pas la réserve importante énoncée par Viala et écrivent sans autre que, dans l'évolution du Mildiou, la contamination des feuilles de vigne se fait par la face supérieure.

Dès lors quelle fut l'idée fondamentale suivie dans tout sulfatage! Répandre à la face supérieure des feuilles, au moment voulu, une quantité suffisante de liquide cuprique pour que les conidies et spores venant en contact avec des traces du sel de cuivre dissous ne puissent se développer. Et effectivement, comme les travaux de Millardet l'ont déjà montré, il suffit de quantités très petites d'un sel de cuivre en solution pour empêcher le développement des zoospores du Mildiou. Seulement la germination des zoospores, la contamination se produisent-elles bien à la face supérieure de la feuille de la vigne, comme on pourrait s'y attendre au premier abord? C'est un point qui, jusqu'à ces dernières années, n'avait pas été étudié dans les divers instituts viticoles.

Preuves de la contamination des feuilles de la vigne par la face inférieure

EXPÉRIENCE DE MM. RUHLAND ET FABER

Les premiers, Ruhland et Faber, dans le « Bericht über die Tätigkeit der kaiserl. biologischen Anstalt für Land und Forstwirtschaft, im Jahre 1908, Berlin 1909 », publient les résultats,

très curieux, leur paraît-il, d'une série d'infections (1) sur la face supérieure et inférieure des feuilles de vignes. Sans entrer dans les détails, disons que Ruhland et Faber observent que seules les conidies du Mildiou portées à la face inférieure des feuilles de la vigne réussissent à produire la contamination. Sur 51 infections opérées à la face supérieure des feuilles, 50 ne donnent aucun résultat, une seule produit une tache avec conidiophores, mais le fait est dû probablement à une erreur d'expérimentation, comme nous le verrons plus loin. Par contre, des 48 infections de Mildiou opérées à la face inférieure des feuilles, 38 réussissent et donnent des taches avec conidiophores. Résumons :

	Infections par la face supérieure des feuilles	Infections par la face inférieure des feuilles
Nombre d'infections	51	48
Infections réussies	1 (douteux)	38

D'autres expériences de ces auteurs, poursuivies durant l'automne, établissent constamment la réussite des infections effectuées par la face inférieure des feuilles, leur échec constant si elles sont effectuées par la face supérieure.

Les expériences de Ruhland et Faber, relativement peu nombreuses, entreprises en serre sur des vignes provenant de semis, semblèrent si extraordinaires dans leurs résultats qu'on ne leur accorda pas toute l'attention qu'elles méritaient.

EXPÉRIENCES DE M. MÜLLER-THURGAU

M. Müller-Thurgau, le distingué directeur de l'établissement de recherches agricoles et viticoles de Wädenswil (Zurich), reprit les expériences de Ruhland et Faber, avec la conscience et la méticuleuse exactitude que chacun lui reconnaît dans ce genre de recherches. Les résultats acquis, des plus intéressants, vérifient entièrement les assertions de Ruhland et Faber. Ici non plus, nous ne pouvons entrer dans le détail des expériences dont nous indiquerons seulement les résultats. La première publication de Müller-Thurgau sur ce sujet a paru dans *Centralblatt für Bakteriologie. Parasitenkunde und Injektionskrankheiten, Zweite Abteilung*, p. 683, XXIX Band, 1911. Personnellement j'ai eu l'honneur de com-

¹⁾ Pour éviter toute équivoque, nous désignerons dans ce travail par *infection* le transport artificiel ou non, des conidies sur les feuilles, par *contamination* la pénétration dans la feuille du tube de germination issu de la zoospore.

muniquer ce printemps, au Congrès international de viticulture de Montpellier, le résumé de ces premières recherches.

Ci-après les résultats principaux obtenus par Müller-Thurgau:

Plant de chasselas infecté le 16 août

Pousse A			Pousse B		
Feuilles infectées à la face sup.			Feuilles infectées à la face inférieure		
Infections réussies			Infections réussies		
Nombre des infections	Relevé au 24 août et 14 septembre		Nombre des infections	Relevé au 24 août	Relevé au 24 septembre
103	0		93	14	33
			soit du 15 % soit du 35 %		

Plants de Später Burgunder, infectés le 16 août

PLANT I

Pousse A			Pousse B		
Feuilles infectées à la face sup.			Feuilles infectées à la face inférieure		
Infections réussies			Infections réussies		
Nombre des infections	Relevé au 24 août et 14 septembre		Nombre des infections	Relevé au 24 août	Relevé au 14 septembre
53	0		83	0	7
			soit du 8 %		

PLANT II

63	0	51	2	20
		soit du 4 % soit du 40 %		

Le nombre des contaminations en %, en opérant les infections à la face inférieure des feuilles, reste encore un peu faible dans les deux expériences ci-dessus parce que les vignes ne sont restées que deux jours dans les cages d'expériences, avec l'humidité et la chaleur voulues. Dans les expériences suivantes, Müller-Thurgau laisse six jours les vignes dans les cages d'expériences, après infections. Le nombre des contaminations, soit des infections réussies, s'élève aussitôt.

Plants de chasselas, infectés le 18 août

PLANT I

Pousse A			Pousse B		
Feuilles infectées à la face sup.			Feuilles infectées à la face inférieure		
Infections réussies			Infections réussies		
Nombre des infections	Relevé au 24 août et 14 septembre		Nombre des infections	Relevé au 24 août	Relevé au 14 septembre
112	0		158	49	101
			soit du 31 % soit du 64 %		

PLANT II

137	0	177	87	151
			soit du 49 %	soit du 85 %

Plants de Später Burgunder, infectés le 18 août

PLANT I

Pousse A			Pousse B		
Feuilles infectées à la face sup.			Feuilles infectées à la face inférieure		
Infections réussies			Infections réussies		
Nombre des	Relevé au 24 août et 14		Nombre des	Relevé au 24 août	Relevé au
infections	septembre		infections		14 septembre
83	0		103	98	100
				soit du 95 %	soit du 95 %

PLANT II

102	0	143	125	135
			soit du 87 %	soit du 94 %

Les résultats de ces expériences méritent la plus grande attention. Dans la dernière série, les conditions étaient des plus favorables à la contamination et au développement du champignon, puisque 246 infections faites par la face inférieure de la feuille déterminent 235 contaminations, soit infections réussies. Et malgré ces conditions extrêmement favorables, les 185 infections opérées à la face supérieure des feuilles ne déterminent aucune contamination. Les autres plants expérimentés donnent, comme on peut le voir, des résultats identiques. Suivies jusqu'à leur chute, les feuilles infectées par la face supérieure au moyen des conidies du Mildiou ne présentèrent jamais une contamination, soit une infection réussie. Disons encore que les feuilles infectées, situées à diverses hauteurs sur les pousses, étaient de tout âge, jeunes et vieilles. Jamais aussi une contamination de Mildiou ne fut observée en dehors des points exacts où avaient été opérées les infections.

Dès lors, Müller-Thurgau, continuant et complétant ses recherches, a donné une seconde publication dans le numéro 14, du 24 juillet 1911, du *Schweizerische Zeitschrift für Obst. und Weinbau*.

Examinant les feuilles un ou deux jours après les avoir infectées avec les conidies du Mildiou, il a toujours trouvé que les zoospores issues des conidies s'étaient arrêtées dessus ou exactement à côté des stomates sis à la face inférieure des feuilles. Il a ainsi pu compter une, plusieurs, même jusqu'à 8 zoospores directement accolées à un seul stomate. La zoospore arrivée en contact

immédiat avec le stomate, émet un tube de germination, pénètre dans le stomate et ne tarde pas à tuer les cellules avoisinantes. Déjà 36 heures après l'infection, Müller-Thurgau a vu des cellules tuées dans les feuilles de la vigne. Quant à la pénétration même dans le stomate du tube de germination issu de la zoospore, on peut déjà l'observer 3 heures après l'infection, cela à une température de 20° C. Malgré de minutieuses recherches, Müller-Thurgau n'a vu aucune zoospore germant à la face supérieure de la feuille pénétrer directement le tissu de celle-ci, comme on l'admettait jusqu'ici.

Le mécanisme de la pénétration du Mildiou par les stomates de la feuille étant ainsi démontré, il est facile de comprendre que cette pénétration s'opère par les deux ou trois millions de stomates qui garnissent la face inférieure de la feuille de la vigne, alors que la face supérieure n'en offre que fort peu, tout à son extrémité seulement, et quelques-uns le long des nervures.

A la suite de ces expériences, Müller-Thurgau fit sulfater des ceps de vigne par dessus et par dessous. Voici ci-après les résultats qu'il obtint (page 105).

Ces chiffres se passent de commentaires. Ils démontrent à l'évidence la protection complète obtenue par les sulfatages opérés en traitant la face inférieure de la feuille. Remarquons à cet effet que les travaux de Müller-Thurgau confirment entièrement les expériences de Millardet concernant les faibles doses de cuivre nécessaires pour empêcher la germination des conidies. Celles-ci, déposées à la face inférieure de la feuille, ne peuvent développer normalement leurs zoospores, même lorsque l'infection s'opère sur des parties de la feuille où les gouttes de bouillie, très petites, laissent entre elles des intervalles mesurant jusqu'à 1 millimètre. Il suffit d'une trace de cuivre pour empêcher la contamination.

EXPÉRIENCES EFFECTUÉES A LA STATION VITICOLE DU CHAMP-DE-L'AIR, A LAUSANNE

Dès la publication du premier travail de Müller-Thurgau, je trouvai les résultats acquis si importants et si intéressants que je me décidai de suite à vérifier, contrôler, et si possible étendre les expériences. Je donnerai un résumé, aussi succinct que possible, des travaux opérés dans cette direction à la Station viticole de Lausanne.

A. *Variété « chasselas ».*

Les feuilles sont infectées à la face inférieure

Vigne I	Vigne II	Vigne III
Feuilles non sulfatées	Feuilles sulfatées à la face supérieure (procédé habituel)	Feuilles sulfatées à la face inférieure (nouveau système)
Nombre d infections 473	Nombre d infections 346	Nombre d infections 414
Infections réussies 424	Infections réussies 273	Infections réussies 0
soit du 89 %	soit du 69 %	

B. *Variété « Später blauer Burgunder »*

Les feuilles sont infectées à la face inférieure

Vigne I	Vigne II	Vigne III
Feuilles non sulfatées	Feuilles sulfatées à la face supérieure (procédé habituel)	Feuilles sulfatées à la face inférieure (nouveau système)
Nombre d. infections 301	Nombre d. infections 366	Nombre d infections 515
Infections réussies 290	Infections réussies 273	Infections réussies 0
soit du 96 %	soit du 74 %	

A. — ETUDES EN LABORATOIRE

On sait qu'il est facile de suivre au laboratoire le développement des conidies du Mildiou. Des feuilles mildiousées, prises en pleine vigne et transportées au laboratoire, sont déposées sous cloche entre des feuilles de papier buvard humides. Elles donnent, après 24 ou 48 heures, une production abondante de conidiophores chargés de conidies prêtes à germer. Nous prélevons alors avec un pinceau les conidies apparues en grande abondance et les déposons dans de l'eau distillée, où elles ne tardent pas à développer leurs zoospores. On voit celles-ci s'organiser en nombre variable à l'intérieur de la conidie, en général, de 5 à 8. Nous avons noté jusqu'ici une seule fois un chiffre supérieur, soit la présence de 10 zoospores à l'intérieur d'une seule conidie: le fait doit être très exceptionnel. Bientôt, sous le microscope, les zoospores, munies de deux cils, entrent en mouvement à l'intérieur de la conidie qu'elles parcourent avec rapidité, en cherchant une issue. On dirait des prisonniers ne pouvant s'échapper de leur cachot, alors que tout à côté passent rapidement d'autres zoospores, libres déjà, échappées des conidies. Cependant la conidie s'ouvre à son extrémité, dégageant un passage étroit par lequel s'engagent l'une après l'autre les zoospores, qui présentent un étranglement très marqué au moment du passage, comme l'a fort bien représenté Prillieux (¹).

¹) *Maladies des plantes agricoles*, Paris 1895.

Les gouttes d'eau chargées de conidies, prélevées avec le pinceau, sont transportées sur les feuilles à ensemercer. Ces feuilles et pousses de vignes, utilisées dans nos expériences à la Station viticole de Lausanne, proviennent de nos serres. Elles sont prélevées sur des vignes non sulfatées, élevées en serre, indemnes de toute contamination possible et antérieure par le champignon. Après ensemencements, pour empêcher l'évaporation rapide des gouttes d'eau absolument nécessaires au développement des zoospores, nous transportons immédiatement les feuilles infectées sous une cloche dont la figure 1 donne le modèle. Le tout est constitué par une cuvette de verre remplie de terre très humide. Les pousses de vigne avec les feuilles infectées plongent dans de petits récipients pleins d'eau introduits dans la terre de la cuvette. Elles sont recouvertes d'une cloche de verre, percée à son extrémité, où nous introduisons un tampon de ouate plus moins volumineux, selon que nous voulons activer ou ralentir l'aération. De la ouate humide déposée tout autour de la cloche, à son contact avec la terre, s'oppose encore à l'évaporation rapide. Dans ces conditions, les gouttes d'eau chargées de conidies déposées sur les feuilles se maintiennent facilement vingt-quatre heures sans sécher, assurant la germination des conidies et le dégagement des zoospores.



Fig. 1. Infection et contamination des feuilles de vigne par le Mildiou, sous cloche, au laboratoire

Le 28 juillet de cette année, nous prenons, à 10 heures un quart du matin, des conidies sur feuilles mildiouées et les pla-

cons dans l'eau distillée. A midi et demi un grand nombre de conidies sont entrées en germination, ont développé, puis abandonné leurs zoospores. Dans les récipients utilisés, ces zoospores gagnent surtout la partie supérieure de l'eau, puis elles émettent un petit renflement (tube) de germination.

Avec ce matériel nous infectons à 2 heures des feuilles de vigne à la face inférieure puis les mettons sous la cloche humide. A 5 heures, on peut observer sous les feuilles, dans les gouttes d'eau, des zoospores nombreuses, un certain nombre d'entre elles étant arrêtées au voisinage immédiat des stomates.

Le 29 juillet, nous procédons de nouveau de façon assez semblable. Les conidies du Mildiou, prélevées à 8 heures du matin, germent en grand nombre et abandonnent leurs zoospores dès 9 heures. A 9 heures et demie, nous infectons à la face inférieure des feuilles de vigne, que nous transportons sous la cloche. Le lendemain, 30 juillet, dès 8 heures du matin, nous étudions le résultat de l'infection du jour précédent. Les gouttes d'eau chargées de conidies n'avaient pas encore séché. Nous détachons l'épiderme inférieur de la feuille, aux places ensemencées, marquées par de petits cercles à l'encre de Chine, et l'examinons au microscope selon le procédé ordinaire, dans l'eau avec porte-objet et verlet.

On retrouve facilement les nombreuses conidies vides de leurs zoospores. Dans nos recherches, nous rencontrons les zoospores groupées autour des stomates, pas ailleurs. La figure 2 représente un croquis dessiné ce jour sous le microscope et donnant la situation des zoospores. Parmi les quelques zoospores qui se déplaçaient encore à ce moment, nous avons pu en observer une qui passait sous le verlet, puis s'approcha d'un stomate, s'y accola et resta immobile. Ces observations confirment donc celles de M. Muller-Thurgau relatives à la contamination des feuilles de la vigne par l'intermédiaire des stomates :

Nous sommes arrivés, sous notre cloche humide, à provoquer le développement des conidiophores du Mildiou sur les feuilles en expériences. *C'est la première fois, à notre connaissance, que l'on a pu obtenir sur du matériel coupé, en laboratoire, l'infection puis le développement des conidiophores du champignon.* Sur 8 feuilles infectées par la face inférieure le 11 juillet, feuilles prélevées en serre et certainement indemnes de toute contamination anté-

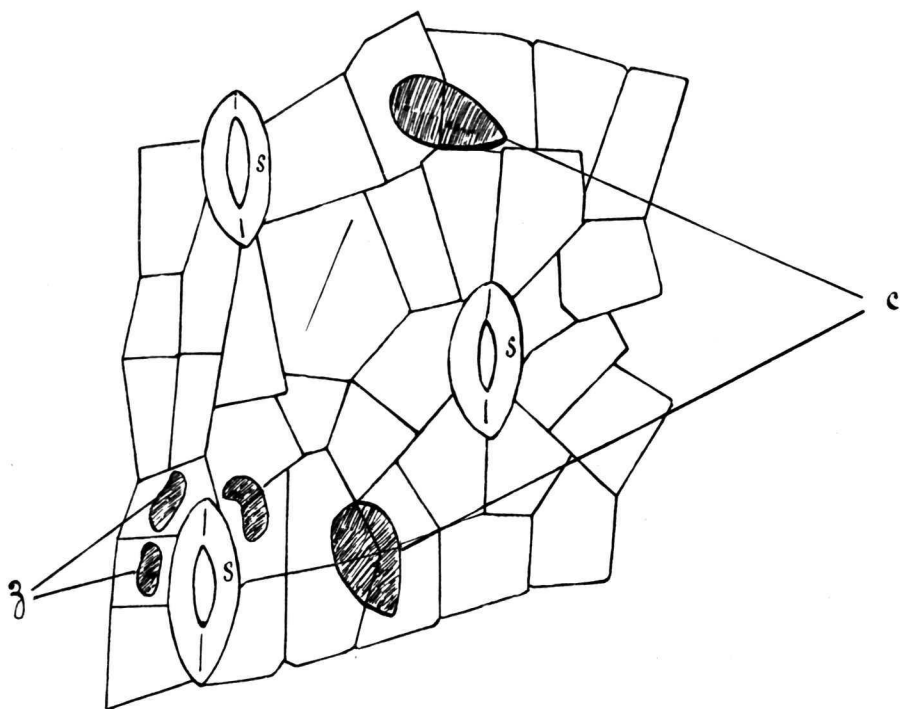


Fig. 2. Germination des conidies du Mildiou à la face inférieure d'une feuille de vigne s, Stomates de la feuille; c, Conidies vides ayant abandonné leurs zoospores; z, Zoospores groupées autour des stomates

rière, nous relevons au 20 juillet deux taches de Mildiou aux conidiophores nettement développées. A ce moment, les feuilles commencent à se désarticuler et sont déjà attaquées fortement par le *Botrytis cinerea*. L'inoculation de la maladie avait donc duré neuf jours. Il est assez difficile de maintenir en bon état les feuilles coupées, pendant plusieurs jours, dans un milieu très humide, éminemment favorable au développement du *Botrytis*. Mais c'est évidemment le fait qu'on infectait les feuilles par la face supérieure qui n'a pas permis d'obtenir, jusqu'ici, la contamination et le développement des conidiophores du Mildiou sur feuilles de vignes coupées en laboratoire.

Nous avons aussi expérimenté en laboratoire l'infection sur vignes en pots, provenant de nos serres. Ces vignes, après infection, étaient revouvertes de caisses d'expériences, dont la figure 3 donne le modèle. Les dites caisses étaient constituées essentiellement par 4 parois de verre comprises entre deux cadres de bois,

dans lesquels, en haut et en bas, des bandes de treillis métalliques assuraient l'aération. Le vide sis entre la partie inférieure de la caisse et le pot de vigne était comblé, aussi bien que possible, par de la ouate. Néanmoins l'humidité suffisante pour le développement des conidies et leur organisation en zoospores ne pouvait s'obtenir que très difficilement dans ces caisses, et nous les avons bientôt abandonnées pour travailler en serre, dans des conditions normales. Si nous signalons leur emploi ici, c'est pour rapporter une expérience qui prouve combien l'incubation du Mildiou peut parfois être de longue durée dans la feuille avant qu'apparaissent à la face inférieure les conidiophores.

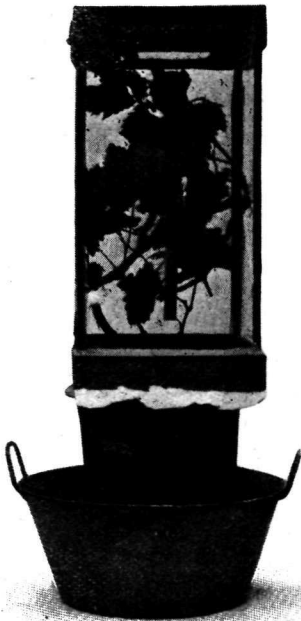


Fig 3 — Vigne en pot, sous cage vitrée, infectée et contaminée par le Mildiou des feuilles, au laboratoire.

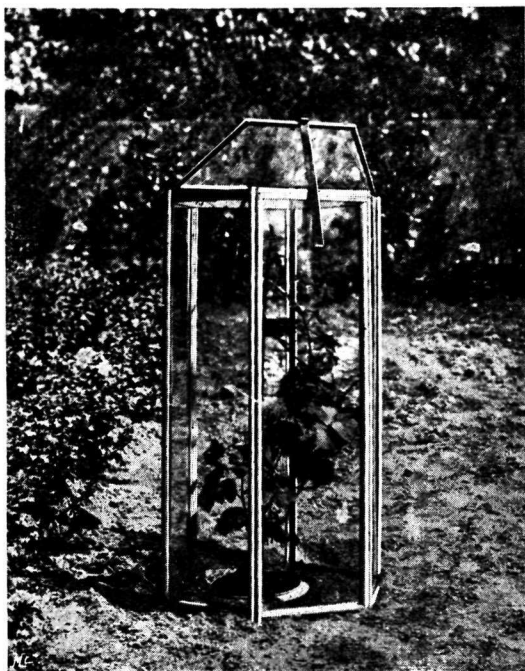
Le 5 juin, nous effectuons une première série d'infections sur une vigne en pot, en laboratoire, que nous plaçons ensuite sous la caisse vitrée. Au 12 juin, ne voyant pas apparaître de conidiophores, nous effectuons une nouvelle série d'infections sur la même plante. Or, au 10 juillet, aucun conidiophore n'étant apparu, nous considérons la contamination comme non réussie, lorsqu'au 14 juillet nous remarquons trois points d'infection sur lesquels se sont développés des conidiophores très nets. La dernière infection ayant été effectuée au 12 juin et la sortie des conidiophores se présentant au 14 juillet, la période d'incubation

du Mildiou à l'intérieur des feuilles de vigne a donc duré 32 jours. Sans doute, l'incubation du Mildiou s'est faite en l'occurrence dans des conditions spéciales, l'atmosphère du laboratoire étant sèche, la ventilation à l'intérieur de la caisse trop prononcée. Malgré l'arrosage de la vigne en pot, nous n'avons pas dans l'air de la caisse d'expériences l'humidité nécessaire pour activer la sortie des conidiophores. Mais cette expérience démontre néanmoins, de façon expérimentale, combien le Mildiou peut, dans certaines conditions

défavorables, rester longuement à l'état latent dans les tissus atteints, combien aussi les sulfatages peuvent être appliqués sur des vignes contaminées depuis longtemps déjà et considérées cependant comme saines.

B — ÉTUDES EN SERRE

Les vignes en pots avec lesquelles nous travaillons sont prises dans nos serres, où elles ont été élevées et maintenues dès le débourrement. Elles ne présentent aucune contamination antérieure possible par le champignon. Après avoir été infectées avec les conidies du *Mildiou*, selon le procédé antérieurement décrit, les vignes sont placées à l'intérieur de la serre, dans les cages d'expériences, représentées par la figure 4. Ces cages, semblables à celles utilisées



à l'établissement fédéral de Wädenswil, présentent 6 pans de verres; elles sont donc hexagonales. Elles mesurent 1 mètre de hauteur et 50 centimètres de largeur au plus grand diamètre. Au haut, la cage est fermée par deux vitres, dont l'une, utilisée comme volet, peut être plus ou moins relevée, de façon à régler l'aération et l'humidité de l'air à l'intérieur. Au bas, la cage ouverte

Fig. 4. — Vigne en pot, sous une des cages vitrées que nous employons pour nos expériences en serre. Les vignes en étude, elle peut aussi, si la plante est de grande dimension, reposer sur des plots de bois, de ciment qui la surélèvent.

Les premières expériences effectuées laissèrent d'abord quelque peu à désirer, l'humidité de l'air n'étant pas suffisante à l'in-

térieur des cages. Mais ensuite, ayant réussi à augmenter le degré hygrométrique de l'air, les infections réussirent parfaitement.

Les vignes en pots, infectées par les gouttes d'eau chargées de conidies du Mildiou, sont aussitôt mises dans les cages d'expériences, après que la terre du pot a été abondamment arrosée, ainsi que le sol à l'entour. Nous suspendons à l'intérieur de la cage des linges mouillés pour augmenter l'humidité de l'air, puis fermons complètement la vitre supérieure. D'autre part, pour empêcher une trop rapide évaporation des gouttes d'eau chargées de conidies déposées sur les feuilles, nous avons en outre disposé dans la serre, au-dessus des cages d'expériences, une toile de couleur verte qui s'oppose à l'arrivée des rayons du soleil.

Les vignes en étude restent deux jours dans la cage absolument fermée, donc dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau et par une température qui oscilla cette année entre 22 et 36° C. Après deux jours, la vitre supérieure est légèrement ouverte, de façon à provoquer quelque aération et à empêcher le développement des moisissures. Nous laissons encore quatre jours, quelquefois davantage, les vignes en expériences dans les cages, puis nous observons les infections réussies ou non. Presque toujours, à ce moment, la contamination, soit l'infection réussie, se marque par une tache visible sur la feuille avec développement de conidiophores à la face inférieure. Quelquefois, si l'atmosphère est un peu sèche, les conidiophores ne sortent pas. Il suffit alors de couper les feuilles, puis de les mettre sous cloche, dans du papier humide, au laboratoire, pour voir les conidiophores apparaître dès le lendemain aux points où les contaminations ont réussi.

Chaque feuille, qu'elle fût infectée par la face supérieure ou la face inférieure, l'était toujours sur trois points fixés auparavant par des marques faites à l'encre de Chine.

I. — Infections des feuilles de vigne faites par la face supérieure et la face inférieure

Ci-après les résultats d'une première expérience:

Plan de chasselas de Fontainebleau, infecté le 29 juin 1911

A. Nombre des infections		B. Nombre des infections	
faites à la face supérieure des feuilles	Infections réussies au 10 juillet	faites à la face inférieure des feuilles	Infections réussies au 10 juillet
30	3	33	24

Les infections par dessous ont donc bien réussi. Quant aux infections faites par dessus, elles donnent trois réussites; le fait ne s'étant plus reproduit dans les expériences subséquentes, nous avons eu évidemment affaire à une erreur d'expériences, qui provient probablement de la cause suivante. N'ayant pas encore à ce moment-là le « tour de main » nécessaire, nous avons placé trop brusquement la caisse d'élevage sur la vigne infectée. Dans ces conditions, des feuilles de la même pousse, infectées les unes et les autres par dessus, ont dû probablement se toucher un instant par superposition. Ainsi la feuille inférieure aura infecté accidentellement, par dessous, la feuille supérieure. Deuxième expérience:

Plants de chassclas de Fontainebleau, infectés le 11 juillet 1911.

PLANT I

A. Nombre des infections			B. Nombre des infections		
faites à la face supérieure	Infections réussies		faites à la face supérieure	Infections réussies	
des feuilles	au 19 juillet	au 25 juillet	des feuilles	au 19 juillet	au 25 juillet
51	0	0	30	26	30
				soit du 100 %	

PLANT II

27	0	0	48	25	27
----	---	---	----	----	----

Cette deuxième expérience ne donne donc aucune contamination avec 78 infections opérées à la face supérieure des feuilles, par contre 57 contaminations, soit infections réussies, sur 78 infections opérées à la face inférieure des feuilles. Remarquer combien les conditions de contamination et de développement du Mildiou étaient favorables sur l'un des plants, puisque nous obtenons, au 25 juillet, du 100 % de réussite: 30 contaminations pour 30 infections effectuées! Et cependant, sur aucun point, l'infection pratiquée à la face supérieure des feuilles n'a provoqué la contamination.

On pourrait peut-être émettre l'hypothèse que les feuilles infectées par la face supérieure sont néanmoins contaminées, mais que le champignon s'y développe plus lentement. Ce n'est pas le cas, car, suivies de très près dans des périodes suivantes ou portées sous cloches en laboratoire, les feuilles infectées par dessus ne présentent pas le développement des conidiophores.

Dans ces expériences, pour ce qui concerne l'âge des feuilles infectées, nous voyons les feuilles âgées, adultes, présenter des «taches mildiousées» petites, rapidement délimitées: le tissu de la

feuille adulte n'est pas très favorable au développement du champignon. Les feuilles plus jeunes, en voie de croissance, présentent des taches mildiousées beaucoup plus étendues, avec développement de nombreux conidiophores. Peut-être leur teneur en eau, plus considérable, est-elle suffisante pour déterminer cette différence? Quant aux feuilles très petites, toutes jeunes, elles ne peuvent pas être contaminées, même lorsqu'elles sont infectées par la face inférieure. Il est probable, comme le suppose Müller-Thurgau, que les stomates, non encore ouverts, ne permettent pas chez ces toutes jeunes feuilles la pénétration des tubes de germination issus des zoospores.

Postérieurement à ces recherches, nous avons reçu un travail de M. J. Perraud, professeur de viticulture à Villefranche, sur «l'évolution et le traitement du Mildiou». M. J. Perraud dit avoir pratiqué en 1910 des expériences qui confirment les nôtres. Sur 45 infections de conidies opérées à la face supérieure des feuilles et 45 opérées à la face inférieure, il n'a obtenu que deux contaminations dans le premier cas et 33 dans le second.

II. — Développement intense du mildiou sur les vignes atteintes par la grêle

Il est reconnu de façon générale que le Mildiou atteint très souvent avec une virulence exceptionnelle les vignes touchées par la grêle. En se rapportant aux résultats des expériences qui précèdent, on est amené à penser que les déchirures opérées aux feuilles par la grêle constituent tout autant de portes d'entrée par lesquelles les gouttes d'eau déposées à la face supérieure des feuilles peuvent passer en partie sur la face inférieure, entraînant avec elles les conidies du Mildiou qu'elles contiennent. D'où double chance de contamination pour la feuille et par suite développement intense du parasite.

Pour vérifier la chose, dans la mesure du possible, nous opérons au ciseau sur les feuilles de vigne des déchirures rappelant les coups de grêle, puis nous infectons de suite, par la face supérieure et sur les déchirures, les feuilles ainsi traitées. Chaque feuille reçoit trois déchirures et trois infections. Ci-après le résultat:

Plant de chasselas (fendant roux), infecté le 25 juillet 1911.

Nombre des infections faites sur feuilles lésées à la face supérieure de la feuille	Infections réussies au 31 juillet	Nombre des infections faites sur feuilles non lésées, à la face supérieure de la feuille	Infections réussies au 31 juillet
42	8	21	0

On peut noter la différence des résultats. Les feuilles non lésées, infectées par la face supérieure, ne donnent, comme on pouvait s'y attendre, aucune contamination. Par contre les feuilles lésées, traitées à la face supérieure, présentent quelques infections réussies, qui à la vérité développèrent peu de conidiophores. Peut-être les cellules fraîchement blessées laissent-elles s'échapper des produits qui s'opposent au développement normal des zoospores? Peut-être obtiendrait-on davantage d'infections réussies en procédant après la cicatrisation des blessures? Ce sont des études à reprendre.

Quoi qu'il en soit, l'expérience ci-dessus prouve nettement que les blessures intéressant la feuille peuvent servir de portes d'entrée pour les organes reproducteurs du Mildiou et la virulence exagérée du champignon sur vignes grêlées doit trouver sa raison d'être, en partie du moins, dans ces conditions si favorables à la contamination.

III. — Influence de l'humidité du sol sur la réceptivité du Mildiou par la vigne

Une autre série d'expériences devait nous fournir quelques renseignements sur la différence éventuelle de réceptivité du Mildiou par la vigne, la plante étant tenue en sol humide ou au contraire en sol peu humide.

A cet effet, nous arrosions abondamment pendant un certain nombre de jours une vigne en pot (muscat rouge), tandis que nous conservons dans une terre aussi sèche que possible un autre pied, de la même variété. Ci-après les résultats:

Ceps de muscat rouge infectés le 2 août 1911, par la face inférieure des feuilles.

A. CEP ARROSÉ				B CEP NON ARROSÉ			
Nombre des infections	Infections réussies			Nombre des infections	Infections réussies		
	au 9 août	au 10 août	au 11 août		au 9 août	au 10 août	au 11 août
72	20	41	43	54	50	41	36

Sur le cep arrosé, le nombre des contaminations, soit des infections réussies, augmente du 9 au 11 août. Le cep non arrosé donne au contraire le 11 août un chiffre inférieur à celui observé le 9, quelques feuilles infectées étant tombées dans l'intervalle, par suite de la sécheresse de la terre, et n'entrant plus au 11 août en ligne de compte.

Il semblerait ressortir de cette expérience que la plus ou moins grande humidité du sol n'a guère agi sur la réceptivité de la plante vis-à-vis du parasite, le cep non arrosé présentant un total d'infections réussies supérieur à celui obtenu sur le cep arrosé. Ce serait bien plutôt les conditions de l'air, humidité et chaleur, qui joueraient le rôle prépondérant pour la contamination des feuilles par le champignon. Mais ici aussi il serait prématuré de conclure, de nombreuses expériences devant encore être répétées avant toute affirmation.

IV. Défense de la vigne contre le Mildiou. Influence du sulfatage, exécuté sur la face supérieure ou sur la face inférieure des feuilles

Nous touchons ici à un point capital, soit l'influence exercée par les sulfatages sur la germination des conidies et le développement des zoospores du Mildiou. Considérant le résultat des expériences qui précèdent, on est amené à penser que l'infection des feuilles de vigne par leur face inférieure est bien plus importante que l'on ne l'estimait jusqu'à aujourd'hui. Sans doute les expériences déjà signalées de Millardet établissaient bien que les conidies du Mildiou tombaient surtout à la face supérieure de plaques de verre huilées exposées dans le vignoble. Sans doute les pluies également déposent surtout d'abondantes gouttes d'eau à la face supérieure des feuilles de vigne. Mais il ne faut pas oublier d'autre part que le Mildiou se propage de façon intense par le brouillard, les fortes rosées et d'une façon générale dans toutes les circonstances où l'air, étant saturé d'humidité, les gouttes d'eau de condensation se déposent aussi bien à la face inférieure qu'à la face supérieure des feuilles. Puis, les gouttes de pluie heurtant le sol rejaillissent avec facilité et viennent frapper la face inférieure des feuilles, surtout lorsque la vigne, non encore attachée, présente ses bois traînant sur le sol. Dans les opérations de culture, attachage, levage, etc., de nombreuses feuilles sont en outre retournées, pour quelque temps du moins, et permettent alors une contami-

nation facile par leur face inférieure. D'autre part, les conidies du Mildiou, entraînées par les courants d'air, sont si ténues et légères qu'elles se répandent en nuages, comme chacun peut le voir, dans toutes les directions et viennent se fixer aussi avec facilité dans les gouttes d'eau déposées à la face inférieure des feuilles.

Le 9 août 1911, à 10 heures du matin, nous sulfatons *sur la face supérieure des feuilles*, selon le procédé ordinaire, un cep de Chasselas rose, au moyen de bouillie bordelaise à 2 % de sulfate de cuivre, toute fraîchement préparée. Sitôt les taches de bouillie séchées, soit deux heures après, à midi, nous infectons avec des gouttes d'eau chargées de conidies du Mildiou un certain nombre de feuilles, soit par leur face inférieure, soit par leur face supérieure.

D'autre part nous prenons un cep Frankenthal et le sulfatons *sur la face inférieure des feuilles*, avec la même bouillie bordelaise. Nous infectons de même un certain nombre de feuilles, soit par leur face inférieure, soit par leur face supérieure. Ci-après le résultat de l'expérience :

Cep de chasselas rose, sulfaté par dessus, le 9 août 1911

A. Feuilles infectées par dessus				B. Feuilles infectées par dessous			
Nombre des infections	Infections réussies			Nombre des infections	Infections réussies		
	au 19 août	au 20 août	au 21 août		au 19 août	au 20 août	au 21 août
24	0	0	0	45	26	27	29

Cep de Frankenthal, sulfaté par dessous, le 9 août 1911

A. Feuilles infectées par dessus				B. Feuilles infectées par dessous			
Nombre des infections	Infections réussies			Nombre des infections	Infections réussies		
	au 19 août	au 20 août	au 21 août		au 19 août	au 20 août	au 21 août
24	0	0	0	60	0	0	0

L'importance de l'expérience, vérifiant entièrement celles effectuées par Müller-Thurgau, ressort sans autre des chiffres ci-dessus. Comme nous l'avons dit, les ceps avec lesquels nous travaillons se sont entièrement développés en serre; ils sont donc indemnes de toute contamination antérieure possible par le Mildiou. Or, que la vigne ait été sulfatée par dessus ou par dessous, les infections par la face supérieure des feuilles, comme on pouvait s'y attendre, n'ont amené aucune contamination. Par contre, lorsque les infections ont été opérées par la face inférieure des feuilles,

la vigne sulfatée par dessus, selon le procédé ordinaire, se laisse néanmoins contaminer 29 fois sur 45 infections opérées, tandis que *la vigne sulfatée par dessous résiste entièrement à toute contamination.*

Cette expérience prouve encore que la quantité de cuivre qui peut passer, dans les sulfatages, à l'intérieur des organes de la vigne n'est pas suffisante pour leur accorder l'immunité vis-à-vis du cryptogame, comme d'aucuns l'ont prétendu. Les infections opérées par la face inférieure des feuilles, sur les ceps sulfatés à la mode ordinaire, ne devraient pas dans ce cas donner des résultats.

Cette année nous avons au reste répété à nouveau l'essai consistant à arroser 40 pieds de vignes, quatre fois durant la saison, avec une solution de cuivre à 2 ‰, tandis que la vigne à l'entour recevait, aux mêmes dates, quatre sulfatages ordinaires. On avait aménagé un creux tout autour des ceps arrosés, de façon à ce que la solution de sulfate de cuivre pénétrât facilement jusqu'aux racines. Le succès fut nul, tous les ceps arrosés avec la solution de sulfate ayant été très fortement mildioués cette année

V. Infection des grappes par le Mildiou

Bien que nos expériences de 1911 se soient presque exclusivement limitées au mode d'infection des feuilles par le Mildiou, nous avons néanmoins fait une observation relative à l'infection des grappes, qui mérite d'être relatée. Le 23 juillet 1911, un plan de Frankenthal qui tapissait une partie de la serre est détachée, couchée à terre, et l'une des branches, portant quatre grappes normalement développées, est introduite par-dessous dans une de nos cages vitrées. Les grains sont déjà très gros, mais ne présentent pas encore la teinte rougeâtre de maturité. Nous infectons ces quatre grappes avec des gouttes d'eau chargées de conidies du Mildiou, qui sont déposées sur la rafle, les pédicelles, les grains eux-mêmes. La cage vitrée est ensuite hermétiquement fermée pendant 2 jours, le sol au-dessous ayant été abondamment arrosé. Puis nous aérons légèrement, en soulevant la vitre supérieure, pendant 4 jours. Ensuite le sarment, retiré de la cage, est attaché de nouveau en place dans la serre.

Au 31 juillet, puis au 3 août, on ne remarque encore aucune contamination, les grains semblent en parfaite santé. Le 9 août,

par contre, alors que certains grains prennent déjà la couleur rouge de maturité, les grappes de Frankenthal traitées *sont reconnues mildiouées*. L'incubation du champignon a donc duré 16 jours dans les grains. Huit grains sont nettement atteints de «Rot brun», présentent la couleur caractéristique d'un gris brun livide, avec quelques rides qui s'étendent à partir du pédicelle, quelques-uns d'entre eux tombent lorsqu'on les touche. Étudiés en laboratoire, les grains présentent à leur intérieur le mycélium du Mildiou abondamment développé.

Nous retrouvons sur les grappes traitées des grains mildioués, le 18 août, le 26 août et le 2 septembre. A cette dernière date, les grains sains sont déjà d'un beau noir, presque mûrs.

Dans la serre, toutes les grappes témoins, non traitées, n'ont présenté, cela va de soi, aucun grain atteint de Rot Brun.

Cette expérience est la première, à notre connaissance, où l'on obtient artificiellement la contamination du Mildiou sur grappe, avec développement de «Rot brun» sur une plante certainement indemne avant l'infection.

Certains affirment que l'apparition du Rot brun dénonce toujours des atteintes de Mildiou bien antérieures sur grappe, le mycélium du champignon devant peu à peu s'étendre dans le manche de la grappe, gagner les pédicelles, puis les grains. Nous voyons au contraire que le Mildiou peut fort bien attaquer tardivement, peu avant la véraison ou à la véraison même, des raisins entièrement indemnes auparavant.

Cette expérience, faite en serre, a été confirmée par les observations faites en pleine vigne, dans la parcelle de 40 ceps que nous n'avons pas sulfatés, mais arrosés seulement avec une solution au 2 % de sulfate de cuivre. Comme nous l'avons dit plus haut, cette parcelle n'a pas montré de résistance vis-à-vis du Mildiou et a eu ses feuilles fortement attaquées par le champignon, dans la période du mois de juin surtout. En juillet et août, grâce à la sécheresse extraordinaire dont nous avons été gratifiés, les conidiophores ne se produisaient plus sur feuilles à l'air libre, seules les places de couleur brune indiquaient la présence du parasite. Au 8 septembre, des rosées assez fortes commençant à se produire, bien que le temps sec persiste, on voit les conidiophores réapparaître un peu partout sous les feuilles, en même temps que l'on

peut observer la formation typique des «points de tapisserie». Dans cette vigne, beaucoup de grappes ont été ensachées dans des sacs de papier, aussi bien sur les rangs sulfatés normalement que sur les rangs non sulfatés mais arrosés par le pied. Or, à cette date du 8 septembre, de nombreux grains mildioués (Rot brun) se montrent sur les grappes et cela uniquement dans les rangs de ceps sulfatés par le pied, qui présentent donc de nombreuses conidies sur feuilles. Mais, même dans cette parcelle, dans tous les sacs de papier mis le 9 août, on ne trouve aucun grain atteint de Rot brun, ce qui prouve bien une attaque tardive des grains survenue depuis l'ensachage et due au développement abondant des conidies du Mildiou lors des dernières rosées.

Capus, en Gironde, a déjà insisté sur ces attaques du Rot brun atteignant subitement les grappes, sans contamination antérieure. Cette assertion est vérifiée de façon scientifique par l'expérience faite en serre que nous signalons ci-dessus.

Par où les zoospores du Mildiou ont-elles contaminé les grappes? Ont-elles pénétré par la rafle, les pédicelles, la cuticule des grains eux-mêmes? Ce sont toutes questions à reprendre et à étudier de près.

C. — ÉTUDES FAITES EN PLEINE VIGNE

Bien que les expériences que nous avons entreprises établissent chairement la contamination des feuilles de vigne par la face inférieure, un point reste acquis, à savoir les résultats réels obtenus, dans certaines conditions, par les sulfatages tels qu'ils ont été appliqués jusqu'ici. Dans les expériences de Müller-Thurgau, le chiffre total des infections réussies est au reste de 20 % supérieure dans les vignes témoins, non sulfatées, comparées aux vignes sulfatées par dessus.

Expériences	Vigne témoin	Vigne sulfatée	Vigne sulfatée
	non sulfatée	par dessus	par dessous
I. Infections réussies	89 %	69 %	0 %
II. Infections réussies	96 %	74 %	0 %

Fort probablement, les succès dus aux sulfatages tels qu'ils ont été appliqués jusqu'ici sont dus, pour la plus grande part, au liquide cuprique qui atteignait quand même la face inférieure des feuilles. Tout en pulvérisant, une quantité de liquide cuprique, et certes pas négligeable, atteint le revers des feuilles, cette quantité devenant de plus en plus grande au fur et à mesure que l'on appli-

que davantage de liquide à l'unité de surface. En outre, lorsqu'on vise les grappes et qu'on cherche à les atteindre avec le jet, pour les protéger contre le Mildiou, on pénètre plus ou moins à l'intérieur de la souche et l'on pulvérise fortement, de façon accidentelle, la face inférieure des feuilles enveloppant les raisins.

L'importance, dans la lutte contre le Mildiou, de la quantité du liquide cuprique répandue à l'unité de surface est très connue. Ci-après les résultats communiqués sur des essais entrepris en 1910 par la Station viticole de Colmar (Directeur: Prof. Kulisch):

VARIÉTÉS DE VIGNES GAMAY ET LASCA

B.-E. Parcelles sulfatées trois fois durant l'année, avec de la bouillie à la soude à 1 % de sulfate de cuivre. On indique les quantités répandues à l'hectare.

				Récolte sur 100 ceps exprimée en kilos de raisins
Parcelle A	non sulfatée			14 kilos
—	B. sulfatée 3 fois :	400 litres répandus à l'hectare		26 —
—	C. —	800	— —	32 —
—	D. —	1200	— —	52 —
—	E. —	1500	— —	52 —

On voit combien les résultats obtenus dans la lutte contre le champignon s'améliorent sous l'influence des grandes quantités de liquide cuprique répandues. A notre avis, il est donc possible que les succès obtenus par les sulfatages, tels qu'ils ont été pratiqués jusqu'ici, aient été dus surtout aux liquides cupriques qui atteignaient accidentellement la face inférieure des feuilles. Nous parlons, cela va sans dire, de la lutte contre le *Mildiou de la feuille*.

En outre, l'eau de pluie ou de rosée, lavant l'épiderme supérieure de la feuille, vient ensuite passer parfois à la face inférieure de la même feuille ou d'autres feuilles du cep, entraînant du cuivre dessous. Donc, de cette façon aussi, indirectement, nous avons dû exercer un effet actif sur la germination des zoospores du Mildiou.

Dès cette année, nous avons tenu à expérimenter, dans la pratique, ce que donnerait le nouveau procédé du sulfatage des vignes par dessous. A cet effet, nous réservons dans notre vigne du Champ-de-l'Air, à Lausanne, une parcelle de 1000 ceps environ, qui reçoivent quatre sulfatages, les 29 mai, 12 juin, 23 juin et 14 juillet.

let, sulfatages dirigés autant que possible, en retournant le jet du pulvérisateur, à la face inférieure des feuilles. Le reste de la vigne reçoit, aux mêmes dates, quatre sulfatages appliqués selon la méthode ordinaire. Nous ne pourrions donner le résultat définitif de l'expérience qu'à la vendange, lorsque la récolte aura pu être pesée dans la parcelle sulfatée par dessous et dans la parcelle sulfatée par dessus. Mais on peut noter actuellement déjà la fort bonne tenue de la parcelle sulfatée par dessous, l'abondance des grappes, qui, très belles, paraissent conservées plus nombreuses et plus compactes que dans les parties de la vigne sulfatées par dessus ⁽¹⁾.

M. J. Perraud, professeur de viticulture à Villefranche, dit également que «des applications de bouillies cupriques qu'il a faites en 1910, à l'aide d'un jet coudé, sur les deux faces des feuilles de greffes de 1 et 2 ans en pépinière et de troisième année de plantation, ont assuré une défense très supérieure à celle des traitements, ordinaires, qui ont dû être répétés trois fois par semaine dans les pépinières pour conserver des feuilles criblées de taches minuscules».

D'autre part les *Mitteilungen des deutschen Weinbau Vereins*, numéro 9, du 1er septembre 1911, rapportent une expérience semblable entreprise cette année par le Dr K. Müller, de la Station d'Augustenberg. Une vigne de 3 ares fut sulfatée par dessous, avec de la bouillie bordelaise à 2 % de sulfate de cuivre, le 19 mai, puis au commencement de juin, puis à la fin de juin. Une parcelle témoin, de même grandeur, était traitée aux mêmes jours, avec de la même bouillie, mais répandue selon le procédé ordinaire à la face supérieure des feuilles. On a pu très nettement reconnaître l'attaque plus marquée du Mildiou dans la parcelle traitée selon le procédé ordinaire: il a même fallu, au milieu de juillet, lui appliquer un traitement supplémentaire, le quatrième, pour arrêter les progrès de la maladie.

D. — CONCLUSIONS

1. Les recherches de ces dernières années complètent d'une façon très importante ce que nous connaissions sur la biologie du

¹⁾ Au moment où nous écrivions cet article, la vendange n'avait pas encore été effectuée. Aujourd'hui c'est chose faite: la récolte la plus forte a été prélevée dans la partie de la vigne sulfatée par dessous.

Mildiou. Elles entraîneront vraisemblablement des modifications essentielles dans les procédés de lutte usités contre le parasite.

2. Les études de laboratoire et de serre doivent être confirmées par les applications pratiques. Dès l'an prochain, il y aura lieu de traiter de grandes surfaces de vignes, en sulfatant uniquement les feuilles *par dessous*. Les autres vignobles avoisinants traités suivant l'ancien système devant servir de témoins. Certainement les lances actuelles des pulvérisateurs ne se prêtent pas bien à ce nouveau travail, mais on peut, avec quelque bonne volonté, atteindre néanmoins, en retournant le jet de bas en haut, la face inférieure des feuilles. Si, dans la pratique viticole, le nouveau procédé de traitement contre le Mildiou se montre, comme c'est très probable, nettement supérieur à l'ancien, il y aura lieu d'apporter des modifications légères, mais importantes, à la lance des pulvérisateurs. Les lances devront être plus longues que celles en usage aujourd'hui et coudées, de façon à atteindre facilement par dessous la plante. Quitte à leur apporter plus tard, si possible, des modifications, les prescriptions établies jusqu'ici dans les sulfatages doivent être encore observées avec le nouveau mode de faire: répandre des quantités abondantes de liquide cuprique à l'unité de surface, traiter à intervalles rapprochés dans les périodes où la vigne se montre surtout sensible aux attaques du champignon.

3. Reste à étudier de très près le mode d'évolution du Mildiou sur les grappes. Pour compléter les quelques expériences entreprises cette année dans cette direction, nous nous réservons de suivre l'an prochain l'attaque et le développement du Mildiou sur la grappe, dès l'apparition de celle-ci à la véraison.
